

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05371

研究課題名(和文) 磁気流体における電流渦層の数理解析とその応用

研究課題名(英文) Mathematical modeling and applications of current-vortex sheets in magnetohydrodynamics

研究代表者

松岡 千博 (Matsuoka, Chihiro)

大阪公立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10270266

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：流体界面を挟んで速度と磁場の接線成分に跳びがあると、そこには渦度とともに電流が誘導され、界面上に電流が流れているような渦層、すなわち電流渦層(current-vortex sheet)が形成される。特に、磁場を初期に界面に平行にかけると、渦層のもつ流体の運動エネルギーが磁場のエネルギーに転嫁され、界面近傍に強い磁場が誘導されるとともに、流体不安定性が抑えられることが示された。このような流体と磁場との相互作用は電流渦層という概念を用いてはじめて明らかにされたもので、本研究では、任意の境界形状をもつ界面について、境界条件だけから、領域全体の解を構成できることが理論的に示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電流渦層は、超新星爆発のような宇宙物理やレーザー核融合といった高エネルギー物理の分野において重要な役割を果たすことが知られている。これは、渦層のような大規模渦の存在が磁場増幅を引き起こすため、電流渦層の解明は高強度磁場の生成とも密接に関係している。本研究では、この電流渦層の非線形発展を理論的に解析できるような数値モデルを構築し、高精度の数値計算を行った。これにより、レーザー核融合のみならず、いまだ不明な点が多いMHD乱流の性質を調べる上でも貢献できる。また、ここで構築したモデルを用いると、界面情報だけから全領域の物理量が復元でき、計算時間を大幅に低減することができる。

研究成果の概要(英文)：A theoretical model is proposed to describe fully nonlinear dynamics of interfaces in two-dimensional MHD flows based on an idea of non-uniform current-vortex sheet. Application of vortex sheet model to MHD flows has a crucial difficulty because of non-conservative nature of magnetic tension. When a magnetic field is initially parallel to an interface, the concept of vortex sheet can be extended to MHD flows (current-vortex sheet). Two-dimensional MHD flows are then described only by a one-dimensional Lagrange parameter on the sheet. It is also shown that bulk magnetic field and velocity can be calculated from their values on the sheet. Numerical solutions of the model reproduce properly the results of the ideal MHD simulations, such as the roll-up of spike, exponential growth of magnetic field, and its saturation and oscillation. It is shown by the model that the magnetic field amplification occurs locally associated with the nonlinear dynamics of the current-vortex sheet.

研究分野：非線形解析

キーワード：流体力学 プラズマ物理 非線形発展 渦層 数値モデル 数値解析 磁気流体 磁場増幅

1. 研究開始当初の背景

流体における界面の運動を調べることは、数学や物理のみならず、化学、生物、工学分野においても非常に重要である。流体界面を挟んで速度の接線成分に跳びがあると、そこには渦度が誘導され、渦層と呼ばれる大規模な線状(3次元の場合は面上)の渦構造が出現する。さらに、この渦層が磁場中に生成され、渦層を挟んで磁場の接線方向成分に跳びがあると、電流渦層(current-vortex sheet)と呼ばれる、渦と磁場が局所的に強く相互作用する領域が形成される。通常の流体における界面や渦層に関する研究は数学的にも物理的にも数多く存在するが、磁気流体(Magnetohydrodynamics: MHD)や電気流体(Electrohydrodynamics: EHD)中における電流渦層の数理的解析は、宇宙物理、プラズマ物理、物性物理やその産業応用における重要性にもかかわらず、世界的にみてほとんど進んでいなかった。これは、MHD や EHD には電磁気学の知識が必要とされることから数学者側からのアプローチが少ないこと、また、MHD や EHD の専門家は直接数値シミュレーション(DNS)以外の解析をほとんど行わない為、数学者が解の構造を調べられるような数理モデルを構築できていないことがあげられる。

研究開始当初、観測により、超新星爆発の残留物(Super Nova Remnants: SNR と呼ばれる)が宇宙空間に通常存在する磁場の100倍以上という異常な強さの磁場を持つことがわかってきつつあったが、何がこの磁場増幅を引き起しているのかをうまく説明する理論が存在しなかった。SNR は数千年、あるいは数万年かけて宇宙空間に拡がり、星間物質を巻き込んで新たな恒星や太陽系を作り出す素となる。従って、SNR を調べることは星がどのように誕生するかを知る上で非常に重要な研究テーマである。超新星爆発から数年、あるいは数十年たっても相対論的效果が効かないだけで通常流体の意味では SNR は(MHD)乱流状態にあると考えられている。そこで、研究代表者は、この SNR 中の乱流の渦エネルギーが上記の異常磁場増幅を引き起こしているのではないかと考えた。特に、単一の小規模渦と違い、渦層のような大規模渦構造はけた外れの運動エネルギーをもち、粘性散逸がほとんど生じない SNR 中ではこの巨大エネルギーを長時間維持することができる。このことを念頭に渦層による磁場増幅や観測結果を説明できる理論を構築することを目指したのが本研究の当初の研究背景である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、磁気流体力学と渦層モデルを用いて、渦が存在することによって生じる局所的な磁場増幅および、流体の乱流エネルギーが磁場に流れることによって引き起こされる流体不安定性の抑制と消滅を理論的に詳しく調べることである。特に後者の磁場による流体不安定性の抑制は、レーザー核融合(ICF)の実現に重要であり、今後も応用が期待できる分野である。このような流体と磁場との相互作用は電流渦層という概念を用いてはじめて明らかにできるので、本研究でその数学的モデルの導出や適用範囲、それを用いた領域全体の磁場や速度場の具体的な計算等を目指した。磁場は界面が存在するとそれを横切ることができないという性質をもっている。これは通常の流体力学の速度場においては存在しない条件であり、MHD 特有の性質である。一方、速度場は界面を横切ることができ、その法線成分は常に界面に垂直という性質をもつ。これら異なる境界条件をもつ2つの場が共存する系というのは数学的に非常に珍しく、解析方法が確立されていない。本研究では、SNR の磁場増幅のような物理的側面の探索だけでなく、複数の場が共存する系の数学的解の構成方法とそれを基にした計算可能な数理モデルの構築も目指した。

3. 研究の方法

(1) 数理モデル(界面モデル)の構築.

研究代表者のこれまでの研究で得られた通常流体における渦層モデルの手法を MHD に拡張し、MHD オイラー方程式と磁気誘導方程式から界面の時間発展を記述する方程式を導き、プラズマ物理や宇宙物理で重要な渦層に電流が流れる界面すなわち電流渦層の運動を解析した。MHD では、Lagrange の渦定理が成り立たないため、初期に渦なしなら、時間がたっても渦なしであるとは云えない。本研究では、初期磁場の方向を界面に平行に選ぶことにより、初期に界面をのぞいた領域(バルクと呼ばれる)内に渦も電流が存在しなければ、それらは時間がたってもバルク内に現れないことを証明して界面モデルを構築した。3次元の場合にも、このような特定の初期条件の下でならば、渦層運動を記述する数学的モデルの構築は可能であり、特にベルトラミ場と呼ばれる、速度場と渦度が平行になるような場を厳密に記述することができることを示した。

(2) 数値計算法の開発と数値計算.

(1)の数理モデルが正しく作られているかどうかを検証するために具体的な物理系の数値計算を行った。この物理モデルには、1. 研究背景のところでも述べた SNR における異常磁場増幅を記述する流体モデルを選んだ。これは MHD リヒトマイヤー・メシュコフ不安定性と呼ばれる物理系で、衝撃波が磁場中に存在する流体界面を通過した後に界面がマッシュルーム状に巻き上がる現象である。SNR の中でもこのリヒトマイヤー・メシュコフ不安定性が起きていると考えられてきたが、この不安定性が起きると磁場がどのように変化するかを調べた研究は存在しなかった。研究代表者は本研究で構築した数理モデルを用いて MHD リヒトマイヤー・メシュコフ不安定性

の具体的な数値計算を行い、磁場中にリヒトマイヤー・メシュコフ不安定性が生じると界面近傍において非常に強い磁場増幅が起きることを理論的に示した。研究では、モデル方程式中で初期条件や磁場の強さ、プラズマの密度比等のパラメーターを様々に変えて電流渦層の形状と時間発展の違いを調べた。

(3) 磁場の強さと流体不安定性との関係の解明

磁場の存在が流体不安定性を抑えることは以前から知られており、不安定性が抑えられた界面では、表面アルフベン波と呼ばれる波が磁場に沿って伝播する。本研究では、印加する初期磁場の大きさを徐々に大きくしていき、その界面に与える影響を数値的に調べた。

(4) 様々な流体界面へのモデルの拡張

本研究の発展として、単一界面だけでなく、考えている領域内に複数の界面が存在するような場合の渦層間非線形相互作用を記述できる数理モデルの開発を行った。最終的には磁場が入る形での構築を目指しているが、ここでは通常流体で多層界面の運動と相互作用を記述するモデル方程式の構築を行った。

4. 研究成果

研究代表者は本研究において、SNR のもつ磁場の異常な強さ及びその持続時間等を計算するための数学的モデルを考案し、数値計算を行って直接数値シミュレーションや観測とよく合う結果を得た [1]。本研究では特に、磁場を初期に界面に平行にかけると、渦層のもつ流体の運動エネルギーが磁場のエネルギーに転嫁され、界面近傍に強い磁場が誘導されるとともに、ケルビン・ヘルムホルツ不安定性が抑えられることなどが示された。このような流体と磁場との相互作用は電流渦層という概念を用いてはじめて明らかにされたもので、渦と磁場のやり取りを表す数学的モデルの導出や適用範囲、それを用いた領域全体の磁場の復元に関する詳細な議論が成果としていくつかの学術論文に上梓されている。

磁気的エネルギー（分母）と流体の運動エネルギー（分子）の比を表す量をアルフベン数と呼び、この値が小さいほど、磁気力（ローレンツ力）が強い。アルフベン数無限大は通常の完全流体の渦層（図1一番上）に対応しており、この値を小さくするにつれて界面の巻き上がりは抑えられ、やがて安定な振動解（surface Alfvén 波と呼ばれる）へと移行する。表面アルフベン波は MHD におけるケルビン・ヘルムホルツ不安定性に関して Chen 等によって導出されたが（Chen and Hasegawa, J. Geophys. Res., 1974）MHD における渦層の非線形研究が進まなかったために、長く忘れられていた。最近になって、磁場にケルビン・ヘルムホルツ不安定性のような流体不安定性を抑制する力があることがわかり（Hurricane et al., Nature, 2014; Wheatley, et al. Phys. Fluids, 2014）、核融合の制御等に重要であるとしてプラズマ研究者の興味を引いている。これはローレンツ力が（少なくとも2次元 MHD においては）必ず渦の運動を妨げる向きに働くせいで、研究代表者らの行った研究 [1-2]（下記）でもそのことが理論的に示されている。図1では、巻き上がっていた流体界面が磁場を強くするとともに次第におとなしくなっていく様子がシミュレーションで捉えられている（[2]）。

本研究の研究成果は、分野（流体力学・応用数学）における高インパクトファクターの雑誌に上梓された。また、研究代表者はいくつかの国際会議において招待講演を行った。

[1] C. Matsuoka, K. Nishihara and T. Sano, Nonlinear dynamics of non-uniform current-vortex sheets in magnetohydrodynamic flows, J. Nonlinear Sci., Vol. 27, 531-572 (2017).

[2] C. Matsuoka, K. Nishihara and T. Sano, Nonlinear interfacial motion in magnetohydrodynamic flows, High Energy Density Phys. Vol. 31, 19-23 (2019).

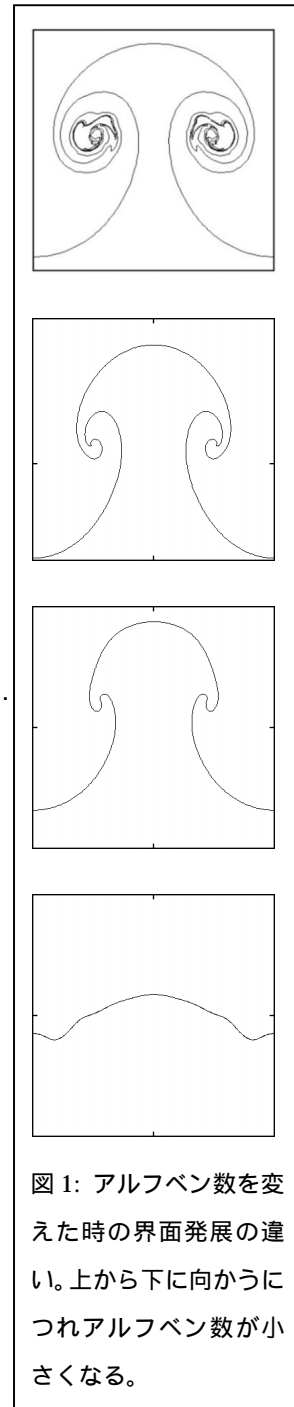


図1: アルフベン数を変えた時の界面発展の違い。上から下に向かうにつれアルフベン数が小さくなる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Chihiro Matsuoka	4. 巻 53
2. 論文標題 Motion of unstable two interfaces in a three-layer fluid with a non-zero uniform current	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fluid Dyn. Res.	6. 最初と最後の頁 055502_1-26
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1873-7005/ac2620	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsuoka Chihiro, Nishihara Katsunobu	4. 巻 27
2. 論文標題 Nonlinear interaction between bulk point vortices and an unstable interface with nonuniform velocity shear such as Richtmyer-Meshkov instability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 052305 ~ 052305
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5131701	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsuoka Chihiro	4. 巻 36
2. 論文標題 Nonlinear interaction between bulk vortices and the interface in the incompressible Richtmyer-Meshkov instability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 High Energy Density Physics	6. 最初と最後の頁 100834 ~ 100834
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.hedp.2020.100834	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsuoka Chihiro	4. 巻 32
2. 論文標題 Nonlinear dynamics of double-layer unstable interfaces with non-uniform velocity shear	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 102109 ~ 102109
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0023558	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsuoka Chihiro, Nishihara Katsunobu, Cobos-Campos Francisco	4. 巻 27
2. 論文標題 Linear and nonlinear interactions between an interface and bulk vortices in Richtmyer-Meshkov instability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 112301 ~ 112301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0016553	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Matsuoka Chihiro, Nishihara Katsunobu, Sano Takayoshi	4. 巻 31
2. 論文標題 Nonlinear interfacial motion in magnetohydrodynamic flows	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Energy Density Physics	6. 最初と最後の頁 19 ~ 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hedp.2019.02.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Matsuoka Chihiro, Nishihara Katsunobu, Sano Takayoshi	4. 巻 31
2. 論文標題 Nonlinear interfacial motion in magnetohydrodynamic flows	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Energy Density Physics	6. 最初と最後の頁 19 ~ 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hedp.2019.02.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 C. Matsuoka, K. Nishihara and T. Sano	4. 巻 31
2. 論文標題 Nonlinear interfacial motion in magnetohydrodynamic flows	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Energy Density Physics	6. 最初と最後の頁 19-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hedp.2019.02.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 C. Matsuoka, K. Nishihara and T. Sano	4. 巻 27
2. 論文標題 Nonlinear dynamics of non-uniform current-vortex sheets in magnetohydrodynamic flows	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Nonlinear Sci.	6. 最初と最後の頁 531-572
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00332-016-9343-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Chihiro Matsuoka
2. 発表標題 Nonlinear interaction between an interface and bulk point vortices in Richtmyer-Meshkov instability
3. 学会等名 光・量子ビーム科学合同シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chihiro Matsuoka
2. 発表標題 Nonlinear interaction of two interfaces in the multi-component Richtmyer-Meshkov instability
3. 学会等名 5th Asia Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPs-DPP2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chihiro Matsuoka and Koichi Hiraide
2. 発表標題 Exact solutions in non-integrable systems
3. 学会等名 OCAMI Joint Usage/Research, Helicity and space-time symmetry a new perspective of classical and quantum systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松岡千博、平出耕一
2. 発表標題 Henon写像に付随する非線形差分方程式の厳密解に対する急収束級数展開
3. 学会等名 2021年度冬の力学系研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松岡千博、西原功修
2. 発表標題 非一様初期渦度をもった多層界面相互作用による非線形渦度増幅
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松岡千博
2. 発表標題 リヒトマイヤー・メッシュコフ不安定性における界面とバルク渦の非線形相互作用に関する研究
3. 学会等名 光・量子ビーム科学合同シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chihiro Matsuoka
2. 発表標題 Vortex sheet dynamics in magnetohydrodynamic turbulence
3. 学会等名 NITEP Workshop "Turbulence of all kinds" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡千博
2. 発表標題 磁場による流体不安定性の抑制に関する研究
3. 学会等名 光・量子ビーム科学合同シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡千博
2. 発表標題 2つの渦層とバルク渦との相互作用
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 物性
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡千博
2. 発表標題 渦層界面とバルク点渦との相互作用
3. 学会等名 日本流体力学会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chihiro Matsuoka
2. 発表標題 Nonlinear interaction between bulk vortices and the interface in the incompressible Richtmyer-Meshkov instability
3. 学会等名 Eleventh International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡千博
2. 発表標題 カオスの決定論的記述と未来予測
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第20回秋季交流フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chihiro Matsuoka
2. 発表標題 Vortex sheet dynamics with bulk point vortices in Richtmyer-Meshkov instability
3. 学会等名 61st Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chihiro Matsuoka
2. 発表標題 Deterministic representation of chaotic attractors and capture of all homoclinic points in Henon map
3. 学会等名 3rd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡千博
2. 発表標題 渦層モデルによる多層界面の非線形解析
3. 学会等名 九州大学応用力学研究所研究集会「海洋・海岸等における波動の解析モデルの発展」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chihiro Matsuoka
2. 発表標題 Nonlinear motion of current-vortex sheets in magnetohydrodynamic flows
3. 学会等名 NITEP one year anniversary conference "Turbulence of all kinds" (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡千博、平出耕一
2. 発表標題 不変複素曲線のLaplace積分による漸近展開表現と古典的整関数表現の関係
3. 学会等名 2019年度冬の力学系研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡千博
2. 発表標題 多層界面の非線形運動
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 C. Matsuoka
2. 発表標題 Nonlinear interfacial motion in magnetohydrodynamic flows
3. 学会等名 2th International Conference on High Energy Density Laboratory Astrophysics (HEDLA) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松岡 千博
2. 発表標題 力学系の線形化写像とラプラス変換不可能性
3. 学会等名 「RIMS研究集会：力学系 - 理論と応用の連携探索」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松岡 千博
2. 発表標題 渦層モデルを用いた自由境界流れの解析
3. 学会等名 研究集会「海洋・海岸における波動モデルの比較」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松岡千博、平出耕一
2. 発表標題 Borel-Laplace変換による漸近展開表現の収束性
3. 学会等名 2018年度冬の力学系研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡千博、平出耕一
2. 発表標題 2次元力学系の不変曲線に対するBorel-Laplace変換による漸近展開表現とカオス的集合II
3. 学会等名 日本数学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡千博
2. 発表標題 磁場による流体不安定性の抑制に関する研究
3. 学会等名 光・量子ビーム科学合同シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松岡千博
2. 発表標題 力学系の線形化写像とラプラス変換不可能性
3. 学会等名 RIMS研究集会：力学系 - 理論と応用の連携探索
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Chihiro Matsuoka
2. 発表標題 Current-vortex sheet dynamics in magnetohydrodynamic flows
3. 学会等名 Turbulent Mixing and Beyond 'Sixth International Conference Tenth Anniversary Program Non-Equilibrium Transport Across the Scales' (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松岡千博, 平出耕一
2. 発表標題 非線形散逸系における最大エントロピーとリアプノフ指数の関係
3. 学会等名 日本物理学会2017秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松岡千博
2. 発表標題 ストレンジアトラクターの解析的表現 カオスの決定論的描像
3. 学会等名 研究集会「海洋・海岸における波動の解析モデルの応用」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Chihiro Matsuoka and Koichi Hiraide
2. 発表標題 Homoclinic angles and non-hyperbolicity of the Henom map
3. 学会等名 2017年度冬の力学系研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松岡千博, 平出耕一
2. 発表標題 エノン写像のリアプノフ数, 位相的エントロピー, ハウスドルフ次元
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	西原 功修 (Katsunobu nishihara) (40107131)	大阪大学・レーザー科学研究所・名誉教授 (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	平出 耕一 (Koichi Hiraide) (50181136)	愛媛大学・理学部・研究員 (16301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
スペイン	INEI	Universidad de Castilla-La Mancha	